

学校编码: 10384

学号: 23120091152691

分类号_____密级_____

UDC_____

厦门大学

硕 士 学 位 论 文

PET 柔性衬底低反射率中密度滤光片的研究

Research on Neutral Density Filters with Low Reflectance
Deposited on PET Flexible Substrate

黄莎玲

指导教师姓名: 卜轶坤 副教授

专 业 名 称: 光 学 工 程

论文提交日期: 2012 年 5 月

论文答辩时间: 2012 年 6 月

学位授予日期:

答辩委员会主席: _____

评阅人: _____

2012 年 5 月

厦门大学学位论文原创性声明

本人呈交的学位论文是本人在导师指导下,独立完成的研究成果。本人在论文写作中参考其他个人或集体已经发表的研究成果,均在文中以适当方式明确标明,并符合法律规范和《厦门大学研究生学术活动规范(试行)》。

另外,该学位论文为()课题(组)的研究成果,获得()课题(组)经费或实验室的资助,在()实验室完成。(请在以上括号内填写课题或课题组负责人或实验室名称,未有此项声明内容的,可以不作特别声明。)

声明人(签名):

年 月 日

厦门大学博硕士论文摘要库

厦门大学学位论文著作权使用声明

本人同意厦门大学根据《中华人民共和国学位条例暂行实施办法》等规定保留和使用此学位论文，并向主管部门或其指定机构送交学位论文（包括纸质版和电子版），允许学位论文进入厦门大学图书馆及其数据库被查阅、借阅。本人同意厦门大学将学位论文加入全国博士、硕士学位论文共建单位数据库进行检索，将学位论文的标题和摘要汇编出版，采用影印、缩印或者其它方式合理复制学位论文。

本学位论文属于：

（ ） 1. 经厦门大学保密委员会审查核定的保密学位论文，于
年 月 日解密，解密后适用上述授权。

（ ） 2. 不保密，适用上述授权。

（请在以上相应括号内打“√”或填上相应内容。保密学位论文应是已经厦门大学保密委员会审定过的学位论文，未经厦门大学保密委员会审定的学位论文均为公开学位论文。此声明栏不填写的，默认为公开学位论文，均适用上述授权。）

声明人（签名）：

年 月 日

厦门大学博硕士论文摘要库

摘 要

中密度滤光片是通过吸收或反射方式，在指定光谱范围内实现对入射光能量的中性衰减。当外界环境光过强时，中密度滤光片可以通过对入射光的吸收减少进入成像系统的光强，提升成像质量，另外，还有一个重要的特点就是要求表面剩余反射非常低，否则就会产生鬼影等斑纹，影响成像质量。随着数码成像的飞速发展，更小型、更轻便以及更低的成本是光学成像系统的必然发展趋势。这些微小型成像系统要求内嵌入系统的光学元件能够适合狭小的安装空间，能够按照空间布局随意裁切成要求的外形，并具有良好的光学特性，传统的中密度滤光片通常采用吸收玻璃或玻璃上镀制金属铬膜制成，不仅质量重且体积庞大，已不再适用于目前的数码成像领域。柔性衬底不仅具有可以同硬质衬底媲美光学特性，还具有可弯曲、质量轻、成本低、可随意裁切等优点，基于柔性衬底的中密度滤光片在数码成像领域将有着非常广阔的应用前景。

正是基于这些需求，本课题开展了“柔性衬底上的低反射率中性密度滤光片的研究”，其主要内容是研制一种基于柔性衬底 PET 材料上的低反射率金属介质膜堆中密度滤光片，在可见光波段实现平坦的透射谱和非常低的表面剩余反射。本文主要进行了基于柔性衬底的金属介质膜堆中密度滤光片的理论设计和实际制备。主要包括以下内容：

(1) 基于金属介质膜堆理论，将光学薄膜导纳轨迹法应用于金属介质膜堆组合中，通过导纳追迹，详细深入的分析了引起表面反射率增加的原因，提出了具有不同应用要求的两种基于柔性衬底的中密度滤光片结构，并给出了其详细的设计方法和步骤。结果显示它们不仅能够达到实际需求性能指标，还很好地解决了柔性衬底的应力匹配问题。为镀制实验提供理论指导，进一步对设计的结果进行了允差分析。

(2) 采用一种新型的偏转等离子体溅射沉积技术，对前面设计的两种基于PET的中密度滤光片结构进行了实际制备。主要薄膜材料为NiCr合金， Ta_2O_5 ， SiO_2 ，通过改变离子束流、束压、氧气分压、背景真空度等，研究这些参量对薄膜光学特性、应力特性、附着力特性的影响，确定最佳成膜条件。采用上述沉积工艺，对前期所设计的金属介质低反射率中密度滤光片进行了制备，通过

准确的速率定标以及对沉积误差的补偿修正，成功制备出基于柔性衬底PET上的低反射率、高附着力的中密度滤光片，结果显示，在 420-680nm波段，本文设计镀制的两种中密度滤光片的平均反射率分别为 1.50%和 0.61%，并具有良好的附着力特性和抗卷曲性能。最后还将本文设计制作的成品与日本某公司的样品进行了对比分析，结果具有更加优越的光学性能。

关键词：中密度滤光片；柔性衬底；吸收膜

Abstract

Neutral density filter (ND filter) attenuates transmitted light in the visible spectral range. In a photographic system, when the brightness of an object is too high, light in a predetermined or more amounts may enter the photosensitive surface. In such case, an ND filter is often used to regulate the amount of light incident onto the photosensitive surface. It is necessary for the ND filter to have a uniform transmittance over the entire visible region. Also an antireflection characteristic is very important to the ND filter for preventing ghost flare. Nowadays, the ND filter used in compact thin type digital camera, must be thinner and cheaper, and can be made into any shape easily, because the camera has a narrow set-in space. Traditional neutral density filters are often deposited on glass. They are too thick and too heavy, because glass can not be made very thin and can not be bend. The ND filter deposited on flexible substrate, present in this paper, not only has the same or even better photometric characteristics with the traditional one and is smaller, lighter and cheaper. So neutral density filters based on plastic sheet has a huge market.

The main contents of this paper are as follows:

(1) Using admittance diagram to analysis the optical characteristics of metal-dielectric multi-layer films, based on the metal-dielectric films theory, it's the first time. The reasons for the growth of the reflectance of the ND filters are analyzed in detail. Then, two types of ND filters with flat transmittance and good antireflection characteristic, deposited on Polyethyleneterephthalate (PET) sheet, are presented creatively. The detailed design steps of them are given. The calculated results of their optical characteristics show that flat transmittance characteristics and good antireflection characteristics are obtained. At last, some more analyses are made for improving experiment results.

(2) Next, the two ND filters are formed using a new type of plasma sputtering system. The metal layers are formed of NiCr because of its flat absorbance in visible

spectral range. And dielectric layers are formed of Ta_2O_5 or SiO_2 . The best conditions are obtained by changing the pressure, vacuum degree, the power of sputtering, to find their relationships with the optical characteristics and stress characteristics of metal-dielectric films. We successfully deposited the ND filters on PET, which designed above, by control the depositing rate and sedimentary error correction. The results prove that our designs can prevent the flexible substrate from wrinkling. Their spectrum characteristics are measured and their average reflectance in the wavelength range between 420 and 700nm are 1.5%, 0.61% respectively. Also they have good soundness and stability. In the end, we compare the ND filters we designed and the samples produced by Sumitomo. Our designs have better optical characteristics.

Key Words: Neutral density filters; Films deposition resin sheet; Metal-dielectric films.

目 录

摘 要	I
Abstract	III
第 1 章 绪论	1
1.1 课题提出及其意义	1
1.2 中密度滤光片的研究现状及应用	2
1.3 柔性衬底光学薄膜研究现状	6
1.4 本文的主要工作	7
第 2 章 光学薄膜理论	8
2.1 薄膜光学基本理论	8
2.2 吸收薄膜系统的特性计算	11
2.3 金属介质膜堆理论	16
2.4 金属介质膜堆导纳轨迹法	19
第 3 章 低反射率中密度滤光片的设计	22
3.1 设计目标	22
3.2 单向入射的低反射率中密度滤光片	22
3.3 双向入射的低反射率中密度滤光片	30
3.4 周期结构的低反射率中密度滤光片	34
3.5 设计实例及膜堆特性分析	36
3.6 本章小结	42
第 4 章 中密度滤光片的制备与特性分析	43
4.1 溅射原理	43
4.2 偏转溅射沉积系统介绍	45
4.3 单层薄膜实验制备及参量拟合	48
4.4 柔性衬底上低反射率中密度滤光片的镀制	52
4.5 薄膜特性测试	56
4.6 本章小结	58

第 5 章 总结与展望	60
参考文献	62
硕士期间发表的论文	67
致 谢	68

厦门大学博硕士论文摘要库

Content

Abstract.....	I
Abstract.....	III
Chapter1 General Review	1
1.1 Significance of the project	1
1.2 Application and background of neutral density coatings	2
1.3 Coatings based on a resin sheet	6
1.4 Contents of the thesis	7
Chapter2 General Theory	8
2.1 Introduction and general properties of optical film	8
2.2 Theory and calculations of absorbing coatings.....	11
2.3 Theory of metal-dielectric coatings	16
2.4 Admittance diagram in optical design	19
Chapter3 Neutral density coatings with low reflectance	22
3.1 Design objectives.....	22
3.2 One side ND filters	22
3.3 Two side ND filters	30
3.4 ND filters with periodic structures.....	34
3.5 Design and analysis.....	36
3.6 Summary	42
Chapter4 Experiments and Measurements.....	43
4.1 Sputtering theory.....	43
4.2 Deflection sputtering deposition system introduction	45
4.3 Determination of optical parameters of coating materials	48
4.4 Experimental of neutral density coatings with low reflectance deposited on PET	52
4.5 Measurements and analysis.....	56

4.6 Summary	58
Chapter5 Summary and Expectation	60
References	62
Published papers	67
Acknowledgements	68

第1章 绪论

光学薄膜的作用是通过在光学元件或基板上镀制多层介电质或金属膜,使得光在这些膜层中传播时发生透射、反射、吸收、散射、偏振及相位变化等,改变光的特性。通过适当的设计就可以达到对光特性的控制以满足不同的应用需求。现阶段光学薄膜的应用已经渗透到我们日常生活的各个方面,如光学成像系统、光学传感系统、光通信、太阳能等。可以说只要有用到光的地方就会出现光学薄膜。

1.1 课题提出及其意义

光学薄膜是现代光学的一个重要分支,同时也是现代光学仪器和各种光学器件的重要组成部分。它通过在光学玻璃、光学塑料、光纤、晶体等各种材料的表面镀制多层介质或金属膜,使得光在这些膜层中传播时发生透射、反射、吸收、散射、偏振及相位变化等,改变光的特性。通过适当的设计就可以达到对光特性的控制以满足不同的应用需求。现阶段光学薄膜的应用已经渗透到我们日常生活的各个方面,如光学成像系统、光学传感系统、光通信、太阳能等。可以说只要有用到光的地方就会出现光学薄膜。光学薄膜具有出色的牢固性和光学稳定性,成本相对较低,因此是目前改变系统光学参数分布的首选方法。

在光学系统中光学薄膜的作用主要表现为:改变光强分配、偏振状态或位相特性,包括提高光学效率、减少杂光的高效减反射膜、高反射膜;实现光束的调整再分配的分束膜、能量再分配的分光膜、偏振分光膜、消偏振分光膜;通过波长的选择性透射或反射提高系统信噪比的带通滤光片,长波通、短波通滤光片;实现某些特定功能的ITO透明导电膜、保护膜等。

中密度滤光片属于光学薄膜中用于能量再分配的分光膜,其主要作用是在指定光谱范围内实现对入射光通量的中性衰减。该滤光片可以大量应用于各种光学成像系统和光探测器系统中,特别是在强光环境下,借助中密度滤光片,可以有效地改善成像质量,特别是其对表面剩余反射的减少,对成像系统大有好处,如医疗设备光探测器、临床生化分析设备、化学检测设备、及电子学显像系统等光学仪器等^[1]。进入二十一世纪,随着显示技术、数码成像、光通信

技术的迅猛发展和逐渐的产业化，对于中密度滤光片的发展起到了很大的促进和推动作用。特别是目前数码摄像机、数码照相机、安防监控摄像机等成像设备正如火如荼地发展着，几乎随处可见其身影。另外手机、游戏机、便携式电脑等日常设备中也大量嵌入了成像系统，人们不光需要结构小巧的成像设备，对成像质量的要求也日益增高，在该类系统中通过采用内嵌方式引入中密度滤光片，可以在不改变入射光源强度的情况下，精确地调整曝光量，以便在一定的光圈与快门速度下，改善成像质量，拍摄效果极佳的景像，亦可以带来一些特殊的成像效果。

随着数码成像的飞速发展，更小型、更轻便以及更低的成本是光学成像系统的必然发展趋势。这些微小型成像系统要求内嵌入系统的光学元件能够适合狭小的安装空间，能够按照空间布局随意裁切成要求的外形，并具有良好的光学特性，传统的中密度滤光片通常采用吸收玻璃或玻璃上镀制金属铬膜制成，不仅质量重且体积庞大，已不再适用于目前的数码成像领域，通常在进行光能量衰减的同时，亦会引入较多的反射，产生鬼影等斑纹，影响成像质量。对于微小型中密度滤光片的需求推动了研究人员进行新型中密度滤光片的研究开发。

正是基于这些需求，本课题开展了“PET 柔性衬底上低反射率中性密度滤光片的研究”其主要内容是研制一种基于柔性衬底 PET 材料上的低反射率金属介质膜堆中密度滤光片，在可见光波段实现平坦的透射谱和非常低的表面剩余反射。柔性衬底不仅具有可以同硬质衬底媲美的光学特性，还具有可弯曲、质量轻、成本低、可随意裁切等优点，基于柔性衬底的中密度滤光片在数码成像领域将有着非常广阔的应用前景。

1.2 中密度滤光片的研究现状及应用

中密度滤光片的作用主要是在指定光谱范围内实现对入射光能量的中性衰减。特别是在强光环境下，借助中密度滤光片，可以有效地改善成像质量，特别是其对表面剩余反射的减少，对成像系统大有好处，目前广泛应用于医疗影像探测^[2]、电子学显像系统^[3]、高速图像拍摄^[4]、临床激光医疗设备^[5]以及各类光电显示、成像仪器中^[6-8]，在生化分析仪器中亦有采用中密度滤光片提高生化

检测动态范围^[9],在光纤通信领域,中密度滤光片被用于可控型光衰减器中,具有衰减范围大,线性度好等优点^[10]。特别是近年来数码成像系统的飞速发展,对中密度滤光片提出越来越高的要求,在照相系统使用中密度滤光片,可以减少透过镜头的光通量而降低CCD/CMOS的感光度,可以与光圈配合表现短景深的模糊效果,可以与快门配合,进行动感物体的拍摄,特别是在安防监控摄像系统中,通过中密度滤光片,实现不同光照度下均能成清晰像的效果^[11]。日本作为全球数码成像产品的最大出口国,对中密度滤光片的需求也最大,在许多新型中密度滤光片方面进行了深入细致的研究。

要实现入射光的衰减,根据能量守恒定律,可以利用的原理主要有两个 1) 增加膜堆的反射, 2) 增加膜堆的吸收。根据不同原理,分为基底吸收型中密度滤光片,全介质增加反射型中密度滤光片,单层金属膜中密度滤光片,金属介质组合中密度滤光片。

对于全介质的中密度滤光片,由于介质膜的吸收非常小,几乎可以忽略,主要依靠反射作用,但介质膜的特性决定了其对波长较为敏感,在中性滤光方面就比较困难,同时介质膜对偏振效应敏感,因此全介质的中密度滤光片对入射光的角度效应非常敏感^[12-16]。由于全介质中密度滤光片是基于增加反射的原理来衰减入射光,因此全介质中密度滤光片非常不适用于光学成像系统中,因为过多的反射会严重影响成像质量,形成鬼影等斑纹。

有吸收的基底也常用于制作中密度滤光片,常用做吸收基底的是有色玻璃,例如一些太阳眼镜就用到了这种中密度滤光片,另外也常被用于光探测检测系统中^[17-22]。但是有色玻璃材料的选择范围小,通常在可见光范围内只对某一色的光具有强烈的吸收,在可见光波段的中性不佳,且不易获得适合设计目标的光谱特性。同样不宜用于成像系统中,特别是对成像质量要求严格的成像系统。

上面两种中密度滤光片容易获得低透射率,但是往往剩余反射过高,在光学成像系统中使用的中密度滤光片通常采用含有吸收膜的多层膜结构,由于金属膜具有吸收特性,通常被用作吸收膜层的膜料。对于用于成像系统的中密度滤光片不仅要求在可见光波段具有非常平坦的透射谱,而且要具有非常低的表面剩余反射。为了获得低反射中密度滤光片多采用金属膜层加介质减反膜的结构。

Degree papers are in the "[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)". Full texts are available in the following ways:

1. If your library is a CALIS member libraries, please log on <http://etd.calis.edu.cn/> and submit requests online, or consult the interlibrary loan department in your library.
2. For users of non-CALIS member libraries, please mail to etd@xmu.edu.cn for delivery details.

厦门大学博硕士论文摘要库